
Effets des innovations technologiques et organisationnelles sur la productivité : une extension du modèle CDM

*The Effects of Technological and Organizational Innovations on Productivity: An
Extension of the CDM Model*

Olfa Hajjem, Pierre Garrouste et Mohamed Ayadi



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rei/6184>

DOI : 10.4000/rei.6184

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 30 septembre 2015

Pagination : 101-125

ISBN : 9782807301092

ISSN : 0154-3229

Référence électronique


Olfa Hajjem, Pierre Garrouste et Mohamed Ayadi, « Effets des innovations technologiques et organisationnelles sur la productivité : une extension du modèle CDM », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 151 | 3e trimestre 2015, mis en ligne le 30 septembre 2017, consulté le 10 décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rei/6184> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.6184>

© Revue d'économie industrielle

EFFETS DES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES ET ORGANISATIONNELLES SUR LA PRODUCTIVITÉ : UNE EXTENSION DU MODÈLE CDM

Olfa Hajjem*, Pierre Garrouste†, Mohamed Ayadi‡

 **Mots clés :** R&D, innovation technologique et non technologique, productivité, CDM.

 **Keywords:** R&D, Technological and Non Technological Innovation, Productivity, CDM.

Dans un contexte de mutation rapide de l'environnement économique, l'innovation est considérée comme un déterminant de la compétitivité et de la flexibilité des entreprises. Plusieurs études ont montré que l'innovation technologique contribue d'une manière significative à la productivité (Griliches, 1979 ; Crépon *et al.*, 1998 ; Loof et Heshmati, 2002 ; Galia et Legros, 2005 ; Griffith *et al.*, 2006 ; Robin et Mairesse, 2008 ; Polder *et al.*, 2010). Face à la concurrence internationale qui s'intensifie, la création de nouveaux produits et de nouvelles méthodes de production devient un impératif pour les entreprises pour maintenir, voire améliorer leur position concurrentielle.

* Auteur correspondant : UAQUAP-Institut Supérieur de Gestion de Tunis et GREDEG-Université Nice Sophia Antipolis ; e-mail : olfa.hajjem@yahoo.fr ; adresse : 41 rue de la Liberté, cité Bouchoucha, 2000 Le Bardo, tél. (00216) 21 62 96 86.

† GREDEG-Université Nice Sophia Antipolis ; e-mail : pierre.garrouste@gredeg.cnrs.fr.

‡ UAQUAP-Institut Supérieur de Gestion de Tunis ; e-mail : mohamed.ayadi@isg.rnu.tn.

On peut dater l'étude de la relation innovation-productivité du travail pionnier de Griliches (1979) qui, à l'aide d'une fonction de production Cobb-Douglas augmentée de la R&D, montre que le flux de connaissances qui découle de l'innovation exerce un effet positif sur la productivité. Crépon, Duguet et Mairesse (1998) ont initié un développement important de ces résultats, ce qui a servi de base aux travaux récents portant sur le rendement de l'innovation. D'après leur étude, connue sous le nom de modèle CDM (Crépon-Duguet-Mairesse), les caractéristiques internes et externes de la firme déterminent son activité de R&D. Cette dernière stimule le développement du capital de connaissances technologiques et l'intensité d'innovation qui favorisent la productivité de la firme.

Leur apport principal a été de distinguer les inputs et les outputs de l'innovation. Sont considérés comme inputs d'innovation tous les facteurs internes et externes qui favorisent l'engagement d'une entreprise dans une activité d'innovation. Leur étude montre que ces stimulateurs de l'innovation sont composés principalement de la R&D interne, de l'impulsion par la demande (*demand pull*) et de la poussée technologique (*technology push*). Ils mesurent les outputs d'innovation 1) par l'introduction de nouveaux produits, le changement ou l'amélioration significative des méthodes de production et 2) par l'intensité de ces innovations mesurée grâce à la part des ventes de produits nouveaux dans le chiffre d'affaires.

Plusieurs études ont corroboré l'impact positif de l'innovation sur la productivité en utilisant le modèle CDM (Löf et Heshmati, 2002 ; Griffith et al., 2006 ; Robin et Mairesse, 2008). La majorité de ces travaux se sont focalisés sur l'innovation technologique en produit dans la mesure où c'est le seul type d'innovation pouvant être évalué de manière précise à l'aide de données quantitatives (nombre de brevets, part des produits nouveaux dans le chiffre d'affaires).

Cependant, dans le prolongement du Manuel d'Oslo (1992) et de ses rééditions (1996, 2005)¹, l'apparition de nouvelles enquêtes communautaires sur l'innovation (CIS) a permis d'introduire d'autres inputs

1 La troisième édition (2005) tient compte des progrès réalisés depuis la parution de la 2^e édition (1996) et analyse pour la première fois l'innovation non technologique ainsi que les liens entre les différents types d'innovation.

(investissement en TIC) et outputs (innovation organisationnelle et de marketing) de l'innovation et a engendré un réel enrichissement des données disponibles. Ainsi, des études récentes ont montré l'importance de l'effet des pratiques organisationnelles et de la gestion des connaissances (*knowledge management*) sur la réussite de l'innovation. Ces travaux ont mis l'accent sur la nécessité que les innovations technologiques, pour être efficaces, soient accompagnées de changements organisationnels (Brynjolfsson et Hitt, 2000 ; Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt, 2002 ; Greenan et Mairesse, 2004 ; Galia et Legros, 2005 ; Mohnen et Roller, 2005 ; Polder et al., 2010).

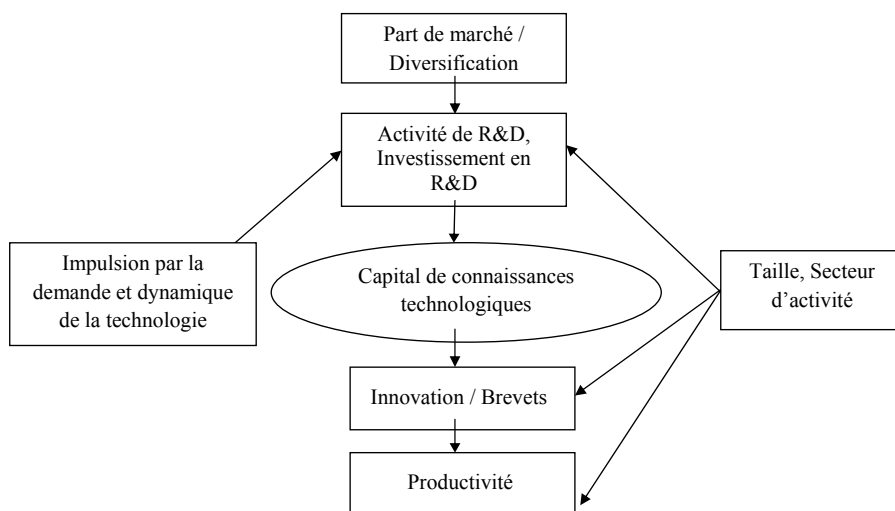
Notre étude s'inscrit dans ce champ de recherche et s'interroge plus précisément sur les facteurs internes et externes favorisant les différents types d'innovation et la complémentarité des innovations technologiques et organisationnelles et ses effets en termes de productivité. Cette question reste en effet très peu abordée par la littérature malgré l'abondance des travaux sur le rendement des innovations technologiques.

L'originalité de notre étude est de proposer une extension du modèle CDM, d'une part en intégrant comme inputs de l'innovation les investissements en R&D externe et en achat de machines et logiciels (M&L) en plus des investissements classiques en R&D interne, d'autre part en introduisant les innovations organisationnelles (changement dans les stratégies managériales, dans l'organisation du travail ou dans les relations avec l'extérieur) et de marketing (changement dans la conception du produit, l'emballage ou la politique de prix) comme outputs complémentaires aux innovations technologiques de produit (innovation ou amélioration significative de biens et services) et de procédé (changement dans les méthodes de production ou de distribution).

Pour cela, nous commençons dans une première section par un survol de la littérature qui étudie le rendement de l'innovation à partir du modèle CDM. Dans une deuxième section, nous présentons notre modèle économétrique et la méthode d'estimation ; puis, dans une troisième section, nous interprétons les résultats et concluons.

1. REVUE DE LA LITTÉRATURE BASÉE SUR LE MODÈLE CDM

Les études sur le rendement de l'innovation diffèrent en fonction de l'évolution des données offertes par les enquêtes communautaires et des méthodes économétriques utilisées. Toutefois, la majorité de ces travaux se basent sur le modèle de rendement de l'innovation de Crépon, Duguet et Mairesse (1998) (CDM). Ce modèle peut être schématisé de la manière suivante :



Source : Crépon, Duguet et Mairesse (1998, 2000)

Selon le modèle CDM, les attributs internes (taille, secteur d'activité) et externes (impulsion du marché et dynamique de la technologie) de la firme déterminent son activité de R&D. Cette dernière stimule le développement du capital de connaissances technologiques qui détermine l'intensité d'innovation et par là la productivité de la firme. L'avantage de cette structure est qu'elle traite les deux problèmes adjacents aux données d'innovation : les problèmes de biais de sélection et d'endogénéité (Mairesse et Mohnen, 2010).

Le problème de sélection vient de ce que les données sur l'innovation sont censurées. Seules les entreprises qui ont réalisé des innovations, en cours ou abandonnées, fournissent des données sur leurs inputs d'innovation (activité de R&D, coopération, sources d'information et de financement).

Cette censure doit être corrigée pour éviter le biais de sélection qui en découle. De plus, les décisions relatives aux activités d'innovation sont prises de manière simultanée et sont déterminées conjointement par d'autres facteurs. Pour remédier à ce biais d'endogénéité, l'analyse des relations de causalité entre ces décisions requiert une modélisation en équations structurelles.

La plupart des articles utilisent le ratio de Mills pour corriger le biais de sélection (Robin et Mairesse, 2008 ; Polder *et al.*, 2010) et les procédures en deux étapes pour corriger la simultanéité (Lööf et Heshmati, 2002 ; Griffith *et al.*, 2006). Nous présentons dans le tableau 1 un panorama, qui est loin d'être exhaustif, de travaux réalisés sur la relation entre les inputs et les outputs de l'innovation et leurs effets sur la productivité des firmes.

Le modèle CDM de base (Crépon, Duguet et Mairesse, 2000) est composé de trois équations. La première équation a la forme d'un modèle Tobit servant à expliquer l'activité de R&D (composé de deux sous-équations : une pour sélectionner les entreprises qui ont investi en R&D et l'autre pour expliquer le montant de l'investissement en R&D). La deuxième équation relie l'output de l'innovation (mesuré par le nombre de brevets et la part des ventes de produits nouveaux dans le chiffre d'affaires) à la R&D. La troisième équation relie la productivité à l'output de l'innovation. L'estimation de la 2^e et de la 3^e équation est réalisée par les moindres carrés asymptotiques qui permettent d'obtenir des estimateurs convergents asymptotiquement normaux (Gourieroux, Monfort et Trognon, 1985) à partir des estimateurs du maximum de vraisemblance et du pseudo-maximum de vraisemblance de la forme réduite (Crépon, Duguet et Mairesse, 2000). Cette méthode permet de corriger le problème de la présence de variables endogènes et se base sur la simulation. En plus de l'avantage de donner une explication structurelle à la relation R&D-productivité, le modèle CDM permet de résoudre deux problèmes économétriques : la prise en compte de la sélection et de la simultanéité (Mairesse et Mohnen, 2003). L'estimation des trois équations du modèle CDM est faite sur les données de la CIS française (1986-1990).

D'autres travaux ont été appliqués sur des données individuelles d'innovation issues d'autre pays (Suède, Allemagne, Royaume-Uni...). La majorité de ces études se base sur le modèle CDM, mais diffère dans le choix des variables endogènes et explicatives et dans le choix de la méthode d'estimation.

Tableau 1. Liste non exhaustive des travaux sur le rendement de l'innovation

Étude	Base de données	Variables endogènes	Méthode d'estimation	Commentaires
Crépon-Duguet-Mairesse (1998, 2000)	CIS France 1986-1990	R&D, brevets (ou part des produits nouveaux dans le chiffre d'affaires), productivité du travail	Tobit généralisé pour la R&D, moindres carrés asymptotiques pour l'innovation et la productivité	Données tronquées pour la R&D
Löf et Heshmati (2002)	Suède	Dépenses d'innovation \ employé, ventes des produits nouveaux \ employé, valeur ajoutée \ employé	Systèmes d'équations, moindres carrés asymptotiques	Données tronquées pour la R&D et la formation, données dichotomiques pour la qualité, mesure de l'effet de retour
Galia et Legros (2003)	France 1994-1996	R&D, innovation, formation, qualité, profitabilité	Tobit généralisé pour l'innovation, les dépenses, 2SLS avec correction pour le biais de sélection	Effet de retour de la productivité sur l'output d'innovation
Griffith, Huergo, Mairesse et Peters (2006)	France, Allemagne, Espagne et Royaume-Uni	R&D, innovation en produit et en processus, fonction de production augmentée	2 modèles probit séparés pour chaque type d'innovation, contrôle de l'endogénéité dans l'équation de productivité	Les probabilités prédites d'innovation en produit et en procédé sont introduites dans l'équation de production
Robin et Mairesse (2008)	France CIS3 (1998-2002) et CIS4 (2002-2004)	R&D, innovation en produit et en processus, productivité de travail	Modèle Tobit généralisé pour la R&D, modèle probit bivarié pour l'innovation, modèle linéaire pour la productivité	Comparer les probabilités d'innover en produit et en procédé simultanément et séparément. Effet positif des deux types d'innovation sur la productivité pour les deux cas
Polder, Leeuwen, Mohnen et Raymond (2010)	CIS Pays-Bas (2002, 2004, 2006)	TIC, R&D, innovation en produit, en procédé et organisationnelle, productivité	Modèle Tobit généralisé pour les TIC et la R&D, probit multivarié pour l'innovation, linéaire pour la productivité	Introduction de TIC et des innovations organisationnelles, comparaison du secteur manufacturier et de services, étude de la complémentarité entre les différents types d'innovation.

Ainsi, Lööf et Heshmati (2002) ont utilisé la somme des dépenses d'innovation par employé au lieu des investissements en R&D comme input de l'innovation. Ils ont utilisé la même méthode d'estimation que le modèle CDM, mais ils ont de plus mesuré l'effet en retour de la productivité sur l'innovation. Cet effet en retour a également été mesuré par Galia et Legros (2003) qui, en plus de l'effet de l'innovation, ont introduit les effets de la qualité et de la formation sur la profitabilité. En outre, ils ont corrigé l'endogénéité en utilisant la méthode des doubles moindres carrés qui est beaucoup plus simple à mener numériquement que la méthode des moindres carrés asymptotiques et donne en plus des estimateurs plus robustes.

Ces études ont eu recours au nombre de brevets et à la part des ventes de produits nouveaux pour mesurer l'output d'innovation. Cependant, ces mesures ont été largement critiquées (Patel et Pavitt, 1993 ; Mairesse et Mohnen, 2010). En effet, les brevets concernent seulement les innovations radicales et il est possible qu'elles ne puissent jamais être introduites sur le marché. En outre, la part des ventes de produits nouveaux ne peut pas être déterminée de manière précise. Les études récentes utilisent de plus en plus des données qualitatives pour mesurer l'output d'innovation. Quoiqu'elles soient moins informatives, ces données sont moins affectées par les erreurs de mesure. À titre d'exemple, Griffith et al. (2006) ont mesuré l'output d'innovation par deux variables dichotomiques indiquant si l'entreprise a fait une innovation en produit ou en procédé et, de ce fait, ils ont utilisé deux modèles Probit séparés (un pour chaque type d'innovation). Pour contrôler l'endogénéité, ils ont introduit les probabilités prédites d'innovation en produit et en procédé dans l'équation de production.

Cette spécification en modèles Probit séparés ne permet cependant pas de mettre en évidence le fait que les innovations en produit et en procédé sont interdépendantes et peuvent être déterminées de manière simultanée. Pour cette raison, Robin et Mairesse (2008) ont utilisé un modèle Probit bivarié pour l'innovation. Ils ont pu ainsi faire une comparaison entre les effets des innovations de produit et de procédé simultanément et séparément sur la productivité. Dans les deux cas, ils ont mis en évidence des effets positifs.

Avec l'évolution des enquêtes communautaires sur l'innovation, d'autres sources et d'autres types d'innovation ont été ajoutés aux innovations en

produit et en procédé, notamment les innovations organisationnelles. Ainsi, Polder *et al.* (2010) ont introduit ce troisième type d'innovation et ont utilisé un modèle Probit multivarié pour estimer l'output d'innovation. Ils ont introduit également l'investissement en TIC comme input d'innovation qui s'ajoute ainsi à l'investissement en R&D. Ce modèle leur a permis d'étudier la complémentarité entre les différents types d'innovation et de montrer que les innovations en produit et en procédé n'ont d'effets positifs sur la productivité que si elles sont accompagnées d'une innovation organisationnelle.

Par rapport à cette littérature sur le rendement de l'innovation, notre apport consiste en une extension du modèle CDM tout en tenant compte des biais de sélection et d'endogénéité. Cette extension consiste d'abord à introduire les investissements en R&D externe et en machines et logiciels, en plus des investissements classiques en R&D interne comme input de l'innovation, puis à introduire les innovations organisationnelles et de marketing comme outputs complémentaires aux innovations technologiques en produit et en procédé.

2. LE MODÈLE

Nous nous basons sur le modèle CDM pour l'estimation du rendement de l'activité d'innovation des entreprises françaises. Nous avons utilisé les données de l'enquête communautaire sur l'innovation menée en 2006 sur un échantillon de 5 179 entreprises industrielles françaises de 20 salariés et plus. Notre modèle est composé de trois blocs d'équations structurelles permettant de tenir compte à la fois des biais de sélection et d'endogénéité. Le premier bloc est consacré à l'input de l'innovation. Il considère trois types d'investissements : en R&D interne, en R&D externe et en M&L (Machines et Logiciels). Nous estimons la fonction d'investissement par un modèle Tobit généralisé type II composé de deux équations (une pour la décision d'investir et l'autre pour le montant d'investissement), ce qui permet de corriger le biais de sélection. Les valeurs prédites des investissements sont par la suite introduites dans le deuxième bloc relatif à l'output de l'innovation qui permet d'approximer les probabilités d'innover en produit, en procédé, en organisation et en marketing par un modèle Probit multivarié. Ce deuxième modèle est estimé par la

méthode de maximum de vraisemblance simulé en utilisant le simulateur GHK (Geweke-Hajivassiliou-Keane) (Train, 2003). Les probabilités prédites de chaque type d'innovation sont par la suite introduites dans le troisième bloc composé d'une équation linéaire de productivité mesurée par le chiffre d'affaire par employé.

2.1. Étape I : Équations des inputs de l'innovation

La première étape de notre modèle estime les activités de R&D interne et externe ainsi que l'achat de machines et de logiciels (M&L). Le montant de chacun de ces trois types d'investissement dépend de la décision de se lancer ou non dans cette activité. Autrement dit, le montant investi est observé si et seulement si l'entreprise déclare avoir fait une activité de R&D ou acquis des M&L. En conséquence, il y a un risque de biais de sélection. Pour remédier à ce problème, nous introduisons une équation de sélection. Ainsi, cette étape est composée de deux équations pour chaque type d'investissement :

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } DI_{ij}^* = w'_{ij}\alpha + \varepsilon_{ij} > 0 \\ 0 & \text{si } DI_{ij}^* = w'_{ij}\alpha + \varepsilon_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (1_a)$$

$$I_{ij} = \begin{cases} RDI_{ij}^* = Z'_{ij}\beta + e_{ij} & \text{si } DI_{ij} = 1 \\ 0 & \text{si } DI_{ij} = 0 \end{cases} \quad (1_b)$$

D : variable binaire = 1 si l'entreprise s'est lancée dans une activité d'innovation.

I : logarithme du montant investi.

Avec $i = 1 \text{ à } N$, $j = 1$ pour la R&D interne, $j = 2$ pour la R&D externe et $j = 3$ pour l'acquisition de machines et logiciels.

En nous basant sur la littérature (Griffith et al., 2006 ; Robin et Mairesse, 2008 ; Polder et al., 2010), nous avons choisis les variables explicatives (Z'_i et w'_i) suivantes :

- Concurrence internationale (con_inter) : variable binaire = 1 si l'entreprise vend sur le marché international, 0 sinon.

En effet, pour faire face à l'augmentation de la concurrence due à l'ouverture des marchés à international, la firme se trouve obligée de se lancer dans une activité d'innovation pour pouvoir survivre, maintenir ou améliorer sa position concurrentielle.

- Moyens de protection : protection formelle ($prot_form$) = 1 si l'entreprise utilise des brevets, des dessins et modèles, ou des marques, 0 sinon ; et protection stratégique ($prot_stra$) = 1 si l'entreprise utilise le secret industriel, la complexité de la conception, ou l'avance technologique sur les concurrents, 0 sinon.

Les entreprises sont d'autant plus motivées à s'engager dans des dépenses d'innovation qu'elles possèdent des moyens pour protéger leurs inventions (Robin et Mairesse, 2008).

- Appartenance à un groupe (Gpe) : variable binaire = 1 si l'entreprise appartient à un groupe, 0 sinon.
- Coopération technologique ($Coop$) : variable binaire = 1 si l'entreprise s'est lancée dans une relation de coopération technologique, 0 sinon.

L'appartenance à un groupe et la coopération technologique offrent aux entreprises la possibilité d'acquérir de nouvelles sources de financement et de partager les flux de connaissances avec leurs partenaires. Ces deux facteurs permettent donc aux firmes d'améliorer leur capacité d'innovation.

- Impulsion par la demande (Dde_pull) = 1 si l'effet : élargir la gamme de produit et accroître la part de marché est moyen ou important (Mairesse et Mohnen, 2010), 0 sinon.

Le classement des industries manufacturières en catégories à forte, moyenne-forte, moyenne-faible et faible intensité technologique a été déterminé en classant les industries selon l'édition 2003 du tableau de bord de l'OCDE de la science, de l'industrie et de la technologie. Cette classification nous permet d'approximer l'effet de la poussée technologique (Mairesse et Mohnen, 2010).

- L'impulsion du marché (*demand pull*) et la poussée de la technologie (*technology push*) sont considérées par Crépon, Duguet et Mairesse (1998, 2000) comme des caractéristiques externes à la firme influençant simultanément l'innovation. En effet, on peut admettre que l'évolution des besoins des consommateurs est à l'origine de la production

de nouveaux produits et procédés. Les services liés à la clientèle et la croissance anticipée du marché stimuleraient alors l'innovation. En outre, la dynamique propre à la technologie permettrait le développement de nouveaux produits. L'engagement dans une activité d'innovation peut ainsi être déterminé en fonction des conditions de demande et de technologie propres à l'activité de l'entreprise.

- Soutien financier public (fin_pub) = 1 si l'entreprise a reçu au moins une forme de soutien financier public, 0 sinon.

En fait une subvention de l'État aide la firme à financer une partie ou la totalité de ses dépenses en activités d'innovation (Griffith *et al.*, 2006 ; Robin et Mairesse, 2008). Cet effet doit cependant être nuancé comme le montrent des travaux récents comparant l'efficacité des subventions à l'innovation et des crédits d'impôts (Massard et Montmartin, 2013 ; Herrera et Montmartin, 2014).

- Sources d'information (sce_infoent , sce_infofrs , sce_infoctl , sce_infocon , sce_infouniv) : variables binaires = 1 si l'entreprise utilise des sources internes à l'entreprise ou au groupe (sce_infoent), sources fournisseurs (sce_infofrs), sources clients (sce_infoctl), sources concurrents (sce_infocon), sources université (sce_infouniv) ; 0 sinon.

Les informations que la firme acquiert auprès de ses partenaires internes et externes influencent fortement sa décision de se lancer dans des activités d'innovation (Griffith *et al.*, 2006 ; Robin et Mairesse, 2008).

- Taille : logarithme du chiffre d'affaires en 2006.

Un grand nombre de travaux ont confirmé l'hypothèse de Schumpeter stipulant que les grandes entreprises sont plus propices à l'innovation (Baldwin *et al.*, 2000 ; Crépon, Duguet et Mairesse, 1998, 2000).

Les équations de chaque type d'input ont la forme d'un modèle Tobit généralisé type II. Nous adoptons alors la méthode d'estimation d'Heckman en deux étapes qui consiste à estimer d'abord la première équation de décision par un Probit dichotomique, et ensuite à construire le ratio de Mills à partir de l'estimateur de la première étape et de l'introduire dans la régression linéaire du montant investi. L'application de cette méthode a donné les résultats suivants :

Tableau 2. Estimation des équations des inputs de l'innovation

Variables	R&D interne		R&D externe		Acquisition machines et logiciels	
	Décis coef	Invest dy/dx	Décis coef	Invest dy/dx	Décis coef	Invest dy/dx
Constante	-2.12 (0.11)***		-3.38 (0.13)***		-1.77 (0.09)***	
Gpe	0.69 (0.06)***	1.46 (0.16)***	0.46 (0.06)***	-2.28 (0.76)***	0.68 (0.05)***	-1.06 (0.44)***
Coop		0.51 (0.08)***		0.29 (0.30)		0.09 (0.13)
Sce_infoEnt		0.29 (0.05)***		0.24 (0.18)		0.03 (0.07)
Sce_infoFrs		-0.06 (0.04)		-0.07 (0.14)		0.32 (0.06)***
Sce_infoclt		0.02 (0.04)		0.08 (0.15)		-0.15 (0.06)***
Sce_infocon		0.03 (0.04)		-0.19 (0.16)		0.04 (0.07)
Sce_infouniv		0.38 (0.05)***		0.17 (0.14)		-0.31 (0.08)***
con_inter	0.40 (0.06)***	0.89 (0.15)***	0.20 (0.07)***	-0.80 (0.59)	0.01 (0.05)	0.07 (0.19)
prot_strat	0.62 (0.05)***	0.81 (0.13)***	0.33 (0.05)***	-1.46 (0.50)***	0.29 (0.05)***	-0.35 (0.21)*
prot_form	0.38 (0.05)***	0.98 (0.12)***	0.53 (0.06)***	-2.15 (0.71)***	0.08 (0.05)*	-0.17 (0.17)
dde_pull	1.88 (0.05)***	1.88 (0.53)***	0.95 (0.07)***	-5.23 (1.10)***	1.57 (0.05)***	-3.86 (1.09)***
fin_pub		0.62 (0.10)***		0.30 (0.32)		0.69 (0.16)***
haute_tech	0.31 (0.59)	0.18 (0.99)	-0.31 (0.72)	3.87 (4.98)	-0.16 (0.50)	2.31 (1.84)
moyhaut_tech	-0.003 (0.30)	0.57 (0.51)	-0.01 (0.33)	-1.46 (2.26)	-0.02 (0.26)	0.34 (0.87)
moyfaib_tech	-0.07 (0.28)	-0.64 (0.44)	-0.15 (0.29)	-0.04 (1.95)	-0.47 (0.25)**	1.35 (0.91)
faible_tech	-0.27 (0.30)	-2.03 (0.58)***	0.28 (0.29)	-0.20 (2.08)	-0.19 (0.25)	0.22 (0.97)
taille	-0.006 (0.02)		0.18 (0.02)***		0.05 (0.02)***	
Ratio de Mills	1.43 (0.45)***		-6.58 (1.25)***		-3.85 (1.04)***	
Rho	0.69		-1.00		-0.99	
N (censurées \ total)	(2752\4965)		(3955\4804)		(2953\5173)	
Test de Wald de « $H_0: \beta = 0$ »	559.07***		33.83***		78.99***	

Note : *, **, *** respectivement significatif à 10 %, 5 % et 1 %, Écarts-types entre parenthèses.

Ces résultats montrent que l'appartenance à un groupe affecte positivement et significativement les décisions de faire de la R&D interne (0.69) et externe (0.46) et d'acquérir des M&L (0.68) ainsi que le montant des dépenses en R&D interne (1.46). Par contre ce facteur agit négativement sur les montants investis en R&D externe et en achat de M&L. En effet, l'appartenance à un groupe permet l'accès à d'autres ressources de financement et de connaissances offrant aux entreprises la possibilité d'augmenter leurs dépenses en R&D interne et de s'engager dans des activités de R&D externes impliquant les autres entreprises du groupe. De même, ce facteur favorise l'automatisation et l'acquisition de nouvelles technologies pour faciliter la communication entre les différentes filiales. L'effet négatif sur les montants investis peut être expliqué par le partage de ces charges avec les autres entreprises du groupe. Pour les mêmes raisons, le lancement dans une relation de coopération technologique a un effet positif et significatif sur le montant investi en R&D interne (0.51).

En ce qui concerne les sources d'information pour les activités d'innovation, nous constatons d'après le tableau 2 que lorsque les entreprises se basent sur leurs propres sources d'information ou celles de leurs groupes, elles dépensent plus en R&D interne (effet marginal positif significatif de 29 %). Par contre, lorsqu'elles se basent sur leurs fournisseurs comme source d'information elles investissent plus en achat de M&L (effet marginal positif significatif de 32 %) pour faciliter la communication avec eux et répondre à leurs exigences en termes d'automatisation et d'informatisation. Nous soulignons également que les firmes utilisant des informations issues des universités allouent plus de ressources pour les activités de R&D interne (effet marginal positif significatif de 38 %) que pour la R&D externe et l'achat de M&L.

Nos résultats suggèrent aussi que la motivation des firmes françaises à faire de la R&D interne et externe augmente si elles sont confrontées à la concurrence internationale, et ce en vue de défendre leur position concurrentielle. En outre, le recours aux moyens de protection de la propriété intellectuelle, qu'elles soient stratégiques ou formelles, a un effet positif sur la décision de faire de la R&D interne et externe mais négatif sur le montant des dépenses en R&D externe et en automatisation (M&L). Il semble que les firmes conditionnent leur décision et leur investissement en activités d'innovation par leur capacité à protéger leurs inventions (Robin et Mairesse, 2008).

Le financement public, à son tour, exerce un effet significativement positif sur les montants investis en R&D interne et externe et en acquisition de machines et de logiciels. Ce soutien de l'État représente une incitation importante pour les entreprises ayant des difficultés à financer elles-mêmes leurs activités d'innovation.

Enfin, nous remarquons que le lancement dans ces activités (R&D interne et M&L) dépend également de l'impulsion par la demande et de l'intensité technologique du secteur d'activité de la firme (ceci est conforme aux hypothèses du modèle CDM) en plus de sa taille (hypothèse schumpétérienne). En effet, lorsque l'entreprise se trouve obligée d'élargir sa gamme de produits et de conquérir de nouveaux marchés pour répondre aux exigences de la demande, elle est incitée à se lancer dans des activités d'innovation pour atteindre ses objectifs. Mais malgré son effet positif sur les décisions, nous remarquons que l'impulsion par la demande exerce un effet négatif sur les montants investis en R&D externe et en automatisation (M&L). Il semble donc que les entreprises françaises investissent plus en R&D interne que dans les autres activités (R&D externe et M&L) pour élargir leur gamme de produits. Ainsi, la satisfaction des nouvelles exigences de la clientèle stimule plus les dépenses en R&D interne que les dépenses en R&D externe et en achat de M&L. Cet objectif est atteint grâce aux efforts des équipes de recherche internes qui doivent effectuer des études de satisfaction de la clientèle pour bien déterminer leurs besoins et présenter les recommandations à suivre au sein de l'entreprise pour innover.

En ce qui concerne l'intensité technologique, nous constatons que l'appartenance de l'entreprise à une industrie de faible technologie a un effet significativement négatif sur l'investissement en R&D interne. De même, l'appartenance à une industrie de moyenne-faible technologie a un effet significativement négatif sur la décision d'achat de M&L. Ainsi, plus la poussée technologique est faible, moins les firmes sont incitées à se lancer dans des activités d'innovation. Nos résultats confirment également l'hypothèse schumpétérienne puisque les effets de la variable taille de l'entreprise sont significatifs et positifs sur les décisions de faire de la R&D externe et d'acquérir des M&L.

2.2. Étape II : Équations des outputs de l'innovation

Nous mesurons l'output d'innovation à l'aide de quatre variables : l'innovation en produit (I_pdt), l'innovation en procédé (I_pcd), l'innovation

en organisation (I_org) et l'innovation en marketing (I_mkg). Étant donnée la nature dichotomique de ces variables et leurs interdépendances, nous recourons à un modèle Probit multivarié pour estimer un modèle à quatre équations simultanées (une équation pour chaque type d'innovation) :

$$I_pdt_i = \begin{cases} 1 & \text{si } I_pdt_i^* > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad I_pcd_i = \begin{cases} 1 & \text{si } I_pcd_i^* > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$I_org_i = \begin{cases} 1 & \text{si } I_org_i^* > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad I_mkg_i = \begin{cases} 1 & \text{si } I_mkg_i^* > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Nous expliquons les variables latentes d'innovation (I_pdt^* , I_pcd^* , I_org^* et I_mkg^*) par les dépenses prévisionnelles en R&D interne et externe et en acquisition de machines et logiciels ainsi que par les moyens de protection formelle et stratégique, l'appartenance à un groupe, la coopération, la taille et les dummies sectorielles de premier niveau (NES 16).

$$\begin{cases} I_pdt_i^* = \widehat{RDI} \gamma_1 + \widehat{RDE} \theta_1 + \widehat{ML} \tau_1 + X'_{1i} \partial_1 + u_{1i} \\ I_pcd_i^* = \widehat{RDI} \gamma_2 + \widehat{RDE} \theta_2 + \widehat{ML} \tau_2 + X'_{2i} \partial_2 + u_{2i} \\ I_org_i^* = \widehat{RDI} \gamma_3 + \widehat{RDE} \theta_3 + \widehat{ML} \tau_3 + X'_{3i} \partial_3 + u_{3i} \\ I_mkg_i^* = \widehat{RDI} \gamma_4 + \widehat{RDE} \theta_4 + \widehat{ML} \tau_4 + X'_{4i} \partial_4 + u_{4i} \end{cases}$$

Cette spécification en Probit multivarié permet de prendre en considération en premier lieu le fait que les différents types d'innovation peuvent être déterminés simultanément. En deuxième lieu, l'introduction des dépenses prévisionnelles d'innovation permet d'utiliser les données de toutes les firmes et non pas seulement de celles qui ont déclaré leurs dépenses. En troisième lieu, elle permet par l'instrumentation des inputs d'innovation de corriger le problème d'endogénéité (Robin et Mairesse, 2008 ; Polder et al., 2010).

Nous recourons à la méthode de maximum de vraisemblance simulé en utilisant le simulateur GHK (Train, 2003) pour estimer ce modèle Probit multivarié. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3. Estimation des outputs de l'innovation

Variables	I_pdt coef	I_pcd coef	I_org coef	I_mkg Coef
\widehat{RDI}	0.42 (0.04)***	0.47 (0.03)***	0.21 (0.03)***	0.11 (0.03)***
\widehat{RDE}	-0.02 (0.04)	-0.20 (0.03)***	-0.04 (0.03)	-0.11 (0.02)***
\widehat{ML}	-0.23 (0.04)***	0.24 (0.04)***	0.08 (0.03)***	0.08 (0.03)**
prot_strat	-0.12 (0.07)*	-0.41 (0.06)***	0.008 (0.05)	-0.13 (0.05)**
prot_form	-0.13 (0.09)	-1.02 (0.08)***	-0.14 (0.07)**	0.31 (0.07)***
taille	-0.03 (0.02)	-0.02 (0.02)	0.05 (0.01)***	0.01 (0.01)
Gpe	-0.47 (0.08)***	-0.33 (0.08)***	-0.21 (0.07)***	-0.34 (0.07)***
Coop	0.11 (0.07)	0.05 (0.06)	0.10 (0.06)*	0.04 (0.05)
agri_alim	-0.16 (0.34)	-0.24 (0.28)	0.15 (0.22)	0.13 (0.22)
biens de consom	-0.006 (0.34)	-0.18 (0.27)	0.24 (0.22)	-0.0008 (0.22)
Automobile	0.05 (0.35)***	-0.32 (0.28)	0.09 (0.23)	-0.68 (0.24)***
Équipement	0.14 (0.34)	-0.48 (0.28)*	0.23 (0.22)	-0.32 (0.22)
Biens Interméd	-0.04 (0.34)	-0.23 (0.27)	-0.18 (0.21)	-0.36 (0.22)*
Énergie	-0.35 (0.38)	0.26 (0.30)	0.41 (0.24)*	-0.36 (0.25)
Cons	0.71 (0.62)	1.02 (0.53)**	-0.53 (0.47)	0.55 (0.45)
rho21			0.01 (0.03)	
rho31			0.03 (0.02)	
rho41			0.14 (0.02)***	
rho32			0.33 (0.02)***	
rho42			0.09 (0.02)***	
rho43			0.30 (0.02)***	
Test de Wald de « $H_0: \beta = 0$ »			5803.49***	
Test de LR « $H_0: \rho_{ij} = 0$ »			376.865***	
N			5173	

Note : *, **, *** respectivement significatif à 10 %, 5 % et 1 %, Écarts-types entre parenthèses.

Nos résultats suggèrent que les différents types d'innovation ne sont pas déterminés de la même manière. L'investissement en R&D interne agit positivement et significativement sur les quatre types d'innovation. Cet effort de R&D interne est présenté dans la littérature comme le déterminant essentiel de la capacité innovatrice des entreprises. En effet, les investissements en R&D constituent le principal mécanisme de développement des compétences technologiques (Crépon, Duguet et Mairesse, 1998, 2000). Ces compétences reposent sur un processus d'apprentissage fondé sur les ressources technologiques et l'effort des unités de recherche internes de la firme.

Cependant, nos résultats suggèrent que l'investissement en R&D externe n'a aucun effet significatif sur les innovations en produit et organisationnelles et qu'il a un effet significatif négatif sur les probabilités d'innover respectivement en procédés et en marketing. En effet, l'externalisation des activités de R&D implique des coûts élevés qui se répercutent négativement sur la capacité d'innovation surtout en procédés et en marketing. Ainsi, les entreprises ont intérêt à minimiser leurs dépenses en R&D externe si elles souhaitent innover dans leurs méthodes de production ou introduire des innovations en marketing et à concentrer leur effort plutôt en R&D interne. Ce résultat est dû à la difficulté d'internaliser et d'appliquer les recommandations prescrites par les équipes de R&D externes pouvant être non compatibles avec les particularités et la structure interne de la firme.

En outre, nous soulignons que l'achat de machines et logiciels a un effet positif et significatif sur les innovations en procédés, organisationnelles et en marketing mais négatif sur les innovations en produit². Ce résultat confirme l'effet positif direct de l'investissement en nouvelles technologies sur les innovations non technologiques d'organisation et de marketing, mais aussi sur le changement ou l'amélioration significative des méthodes de production (innovation de procédé).

Nous constatons également que les effets directs de l'adoption des moyens de protection de la propriété sur les probabilités des différents types d'innovation sont négatifs. Nous remarquons la même chose pour la variable

2 Ce résultat est assez contre-intuitif, car il signifie que la Conception Assistée par Ordinateur, par exemple, n'a pas d'impact sur l'innovation en produit.

« appartenance à un groupe ». Nous pouvons donc dire que ces deux facteurs ne favorisent l'innovation qu'indirectement à travers les activités de R&D.

Nos résultats suggèrent que la taille a un effet direct significatif et positif sur l'innovation organisationnelle. Ainsi, plus la taille de l'entreprise est grande, plus la probabilité d'améliorer et de moderniser son architecture organisationnelle est importante. De même, la coopération technologique n'agit positivement et significativement que sur l'innovation organisationnelle pour les entreprises françaises, son effet direct sur les autres types d'innovation étant non significatif.

Nos résultats montrent aussi que la majorité³ des coefficients de corrélation entre les quatre équations (ρ_{ij}) sont significativement différents de zéro ce qui témoigne de l'interdépendance et de la simultanéité des innovations technologiques et non technologiques. Cette constatation justifie également le recours au modèle Probit multivarié (Mairesse et Robin, 2008 ; Polder *et al.*, 2010) et non aux modèles Probit indépendants comme dans Griffith *et al.* (2006).

Afin de prendre en considération cette relation d'interdépendance entre les différents types d'innovation, nous proposons d'étudier l'existence d'éventuelles relations de complémentarité entre les innovations technologiques et non technologiques et ce par l'estimation de l'équation d'output de l'innovation pour chaque combinaison possible d'innovations. Comme nous avons quatre types d'innovation (variables dichotomiques) nous avons donc 16 combinaisons possibles (0000, 1000, 0100, 0010, 0001, 1100, 0101, 1010, 0110, 0011, 1001, 1011, 1101, 0111, 1110, 1111). Nous présentons dans les tableaux suivants les résultats d'estimation pour chaque combinaison :

3 Seuls deux, sur les six coefficients de corrélation sont non significatifs (innovation produit\procédé et innovation produit\organisation) ce qui implique que l'innovation produit n'est pas réalisée simultanément avec l'innovation en procédé et l'innovation organisationnelle. Cette constatation ne change pas notre résultat sur l'interdépendance et la simultanéité des innovations technologiques (produit, procédé) et non technologiques (organisation, marketing) puisque tous les autres coefficients sont significatifs.

Tableau 4. Estimation de chaque combinaison possible d'innovations

Variables	oooo	iooo	oioo	ooio	oooi	iiio	oioi	ioio
\widehat{RDI}	-0.28***	0.09*	0.18**	-0.05	-0.29***	0.09	0.001	-0.02
\widehat{RDE}	0.14***	-0.02	-0.10	0.03	-0.14**	-0.06	-0.29***	-0.01
\widehat{ML}	0.001	-0.19	0.21***	0.24**	0.26***	-0.06	0.31**	-0.24***
prot_strat	0.18**	-0.42	-0.65***	0.28**	0.03	-0.12	-0.57***	-0.06
prot_form	0.24***	-0.23*	-0.90***	0.05	0.63***	-0.44***	-0.37	-0.12
taille	-0.03	-0.10***	-0.07**	0.09***	-0.02	-0.03	-0.04	-0.09***
Gpe	-0.05	-0.33**	0.26	-0.17	-0.31	-0.06	-0.02	0.11
Coop	-0.35***	-0.16*	-0.20	-0.34**	0.12	0.05	-0.04	0.12
agri_alim	-0.55***	3.54***	3.43***	0.64	3.81***	-0.45	-0.57	-0.63*
consom	-0.59***	3.81***	3.21***	0.74*	3.67***	-0.38	-0.36	-0.50
AUTO	-0.37	4.05***	3.36***	0.82*	3.52***	0.009		-0.47
EQUIP	-0.48**	4.04***	3.20***	0.87*	3.44***	-0.30	-0.89*	-0.19
INTERM	-0.44**	3.94	3.52***	0.85*	3.48***	-0.26	-0.84*	-0.42
ENERG	-0.64**	4.32	3.70***	0.91**	3.35***	-0.84		-1.00*
cons	-2.16***	-3.51	-4.90***	-4.93***	-4.58***	-0.21	1.11	0.63
Test de Wald de								
« $H_0: \beta=0$ »	750.89***	2319.93***	1099.64***	390.09***	1127.28***	149.45***	56.12***	177.11***
R ²	0.41	0.12	0.10	0.20	0.18	0.11	0.10	0.14
N	5173	5173	5173	5173	5173	5173	4706	5173

Variables	oioo	ooii	iooi	ioii	iiio	oiii	iiio	iiii
\widehat{RDI}	0.24***	0.006	0.01	0.07	0.04	0.19***	0.19***	0.29***
\widehat{RDE}	-0.09**	0.01	-0.21***	-0.02	-0.14**	-0.25***	-0.12***	-0.14***
\widehat{ML}	0.23***	0.27***	-0.002	-0.21***	-0.03	0.38***	-0.02	0.05
prot_strat	-0.42***	0.11	-0.05***	-0.21**	-0.17	-0.50***	-0.14*	-0.19***
prot_form	-0.95***	0.62***	-0.10**	0.24*	-0.35**	-0.65***	-0.67***	-0.13
taille	-0.14***	0.05*	-0.30*	-0.08***	-0.06	-0.08**	-0.007	-0.05**
Groupe	0.26**	-0.01	-0.07	-0.35***	-0.16	-0.27*	-0.37***	-0.61***
Coop	-0.15***	-0.50***	0.008	-0.12	-0.18	-0.01	0.04	0.12*
agri_alim	0.22***	0.43	0.01	0.27	-0.04	-0.38	0.008	-0.28
consom	0.41	0.27	-0.11	0.27	-0.14	-0.40	0.13	-0.28***
AUTO	0.19	0.10	-0.38	-0.07		-0.95***	0.68***	-0.76**
EQUIP	0.15	0.27	-0.53	0.26	-0.35	-0.85***	0.25	-0.45
INTERM	0.32	0.18	-0.65	0.04	-0.22	-0.80***	0.32*	-0.43
ENERG	1.01**	-0.16	-0.34	-0.09		-0.21		-0.22
Cons	-1.57**	-4.73	1.99**	-0.24	0.90	0.52	0.07	0.03
Test de Wald de								
« $H_0: \beta=0$ »	250.66***	172.43***	193.38***	185.87***	114.62***	151.15***	567.19***	801.58***
Pseudo R ²	0.09	0.16	0.15	0.14	0.11	0.09	0.20	0.30
N	5173	5173	5173	5173	4706	5173	5173	5173

Nous pouvons utiliser les valeurs prédites de ces estimations pour déterminer l'effet de chaque combinaison possible d'innovations sur la productivité et comparer l'effet marginal de l'adoption de chaque type d'innovation mis en œuvre séparément avec l'effet marginal de son adoption simultanée avec les autres types (Polder *et al.*, 2010). En effet, la complémentarité entre deux variables ou deux stratégies existe si « faire plus de l'une accroît les rendements obtenus en faisant plus de l'autre » (Milgrom et Roberts, 1990, 1995 ; Holmström et Roberts, 1994).

2.3. Étape III : Équation de la productivité

Dans cette étape, nous mesurons l'impact de l'adoption séparée et conjointe des différents types d'innovation sur la productivité. Nous utilisons les moindres carrés ordinaires pour estimer la productivité du travail (log du chiffre d'affaires par employé) par les probabilités prédites de chaque type d'innovation dans un premier modèle (M_1), puis les probabilités prédites de chaque combinaison d'innovations dans un deuxième modèle (M_2).

Les résultats issus de l'estimation du premier modèle (M_1) montrent que les innovations en procédés, organisationnelle et en marketing ont des effets significatifs positifs sur la productivité des entreprises françaises. De fait, nos résultats suggèrent que les changements de méthodes de production, d'architecture organisationnelle ou encore de marketing (modifications significatives du design, de l'emballage ou des méthodes de ventes et de distribution) sont plus rentables que l'introduction de produits nouveaux ou significativement améliorés. L'amélioration des conditions de travail et l'instauration de systèmes de gestion de connaissances appropriés favorisent la productivité des employés, ce qui se répercute directement sur la productivité de l'ensemble de l'organisation.

Si nous observons maintenant les résultats de l'estimation du deuxième modèle (M_2) introduisant toutes les combinaisons possibles d'innovation, nous constatons que les innovations en produit et en procédé favorisent davantage la productivité si elles sont accompagnées par des innovations organisationnelles et en marketing et vice versa. Ce résultat est cohérent avec d'autres études telles que celle de Polder *et al.* (2010) qui montre que les innovations en produit et procédé ont des effets positifs sur la productivité si et seulement si elles sont accompagnées par des innovations organisationnelles, et ce, aussi bien pour le secteur industriel que pour celui des services.

Tableau 5. Estimation de la productivité

Variables	Productivité (M_1)		Productivité (M_2)	
	Coef	Écart-type robuste	Coef	Écart-type robuste
P (inn_pdt)	-0.40	0.11***		
P(inn_pcd)	0.27	0.14*		
P(inn_org)	0.57	0.25**		
P(inn_mkg)	0.42	0.14***		
Taille	0.07	0.01***	0.09	0.01***
p_oooo	0.41	0.22**	-0.07	-0.13
p_1ooo	-0.09	0.22	-2.97	0.71***
p_01oo	0.25	0.22	0.35	1.36***
p_001o			-0.32	0.47
p_0001			-0.30	0.70
p_11oo			2.80	3.48
p_01o1			7.51	3.36**
p_1o1o			2.15	1.15*
p_011o			2.09	0.94**
p_0011			1.58	0.67***
p_1001			-1.55	1.24
p_1o11			3.60	1.07***
p_11o1			-3.52	1.04***
p_0111			-1.70	1.18
p_111o			-1.12	0.96
p_1111			0.61	0.25***
agri_alim			0.62	0.24***
consom			0.06	0.24
AUTO			0.53	0.24**
EQUIP	-0.0003	0.22	0.12	0.24
INTERM	0.07	0.21	0.27	0.24
ENERG	0.73	0.23***	1.01	0.26***
Constant	4.31	0.22***	4.26	0.27***
Test de Wald de				
« $H_0: \beta=0$ »		83.91***		45.71***
R ²		0.15		0.16
N		5172		5172

Les effets positifs les plus importants sur la productivité, dans notre estimation, sont associés à l'adoption simultanée d'une innovation en procédé et d'une innovation en marketing (coefficient de 7.51), puis à la simultanéité entre une innovation en produit, une innovation organisationnelle et une innovation en marketing (coefficient de 3.60), alors que leurs adoptions séparées n'ont pas d'effets positifs significatifs. Nous remarquons également que la mise en place simultanée d'une innovation organisationnelle

et d'une innovation en produit ou d'une innovation en procédé génère des gains significatifs et importants en termes de productivité du travail (coefficients respectifs de 2.15 et de 2.09). Cependant, en l'absence d'innovation organisationnelle, l'association entre les innovations en produit, en procédé et en marketing a un effet négatif sur le chiffre d'affaires par employé. Ce résultat peut s'expliquer par une démotivation des employés ou par une augmentation non proportionnelle ou un décalage entre les coûts de mise en œuvre de ces innovations et les ventes des produits nouveaux.

Enfin, nos résultats suggèrent que l'hypothèse classique de l'impact positif des économies d'échelle sur la rentabilité est corroborée du fait du coefficient significativement positif de la variable taille de l'entreprise dans les deux modèles. La productivité dépend également du secteur d'activité de la firme. Les industries françaises les plus rentables, selon cette étude, sont l'industrie agroalimentaire et l'industrie énergétique.

3. CONCLUSION

L'objectif de ce papier était de proposer une extension du modèle de Crépon, Duguet et Mairesse (1998, 2000), qui consiste d'abord à introduire les investissements en R&D externe et en machines et logiciels, en plus des investissements classiques en R&D interne comme input d'innovation, puis à introduire les innovations organisationnelles et de marketing comme outputs complémentaires aux innovations technologiques en produit et en procédé. Pour étudier le rendement de l'activité d'innovation des entreprises françaises (données de la CIS 2006), nous avons donc utilisé un modèle composé de trois blocs d'équations structurelles.

Le premier bloc est consacré à l'input de l'innovation. Nos résultats suggèrent que les décisions de faire de la R&D et d'acquérir des machines et des logiciels dépendent du positionnement de l'entreprise au sein de la concurrence internationale, de son recours aux moyens de protection de la propriété, de l'impulsion de la demande et de sa taille. Ils montrent également que les montants investis sont déterminés par l'appartenance à un groupe, la coopération technologique, les sources d'information et le financement public.

Les valeurs prédites des investissements ont été par la suite introduites dans le deuxième bloc relatif à l'output de l'innovation, qui permet

d'approximer les probabilités d'innover en produit, en procédé, en organisation et en marketing. Nos résultats suggèrent que les différents types d'innovation ne sont pas déterminés de la même manière.

En effet, l'investissement en R&D interne est le facteur le plus favorable pour les quatre types d'innovation. La probabilité d'innover en procédés est, pour sa part, favorisée par l'achat de machines et logiciels. En ce qui concerne la probabilité de réaliser une innovation organisationnelle, elle est affectée positivement, en plus des investissements en R&D interne et en achat de M&L, par la taille de l'entreprise. Plus la taille de la firme est importante, plus elle est incitée à moderniser son architecture organisationnelle. Nos résultats suggèrent également que la probabilité d'innover en marketing est favorisée, en plus des investissements en R&D interne et en achat de M&L, par l'adoption des moyens de protection formelle (brevets, dessins, modèles, marques...).

Notre étude montre que les politiques propres à l'entreprise (investissement en R&D et en informatisation, coopération technologique, recours aux moyens de protection de la propriété) ou aidées par l'État (financement public) incitent à l'activité d'innovation. Nous avons également mis en évidence, puisque la majorité des coefficients de corrélation entre les quatre équations sont significatifs, l'interdépendance et la simultanéité des innovations technologiques et non technologiques.

Enfin, dans la troisième étape, nous avons mesuré l'impact de l'adoption séparée et conjointe des différents types d'innovation sur la productivité. Pour ce faire, nous avons estimé la productivité du travail en fonction des probabilités prédites de chaque type d'innovation dans un premier modèle, et les probabilités prédites de chaque combinaison possible d'innovation dans un deuxième modèle. Les deux modèles montrent que les innovations en procédés, organisationnelles et en marketing ont des effets significatifs positifs sur la productivité des entreprises françaises.

Il est avéré également que les innovations en produit et en procédé favorisent davantage la productivité si elles sont accompagnées par des innovations organisationnelles et en marketing et vice versa. Toutefois, nous devons souligner la non-prise en compte de la composante temporelle nécessaire pour la bonne compréhension du processus d'accumulation des compétences pour innover.

RÉFÉRENCES

- BRESNAHAN T.F., BRYNJOLFSSON E., HITT L.M. (2002). « Information technology, workplace organization and the demand for skilled labor: firm level evidence », *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 117, n° 1, pp. 339-376.
- BRYNJOLFSSON E., HITT L.M. (2000). « Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, n° 4, pp. 23-48.
- COMMISSION EUROPÉENNE (1992) (1996) (2005). *Manuel d'Oslo : Principes directeurs proposés pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique*, Commission Européenne, Eurostat.
- CRÉPON B., DUGUET E., MAIRESSE J. (1998). « Research investment, innovation and productivity: an econometric analysis », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 7, n° 2, pp. 115-158.
- CRÉPON B., DUGUET E., MAIRESSE J. (2000). « Mesurer le rendement de l'innovation », *Économie et Statistique*, vol. 4, pp. 65-78.
- GALIA F., LEGROS D. (2003). « R&D, innovation, Training, Quality and Profitability: Econometric Evidence from France », 20^e journée de micro-économie appliquée, juin.
- GALIA F., LEGROS D. (2005). « Knowledge management and human resource practices in an innovation perspectives: evidence from France », *Journal of Knowledge Management*, vol. 2, pp. 54-73.
- GIESSEL J., BOEKHOLT P. (2005). « Valorising the Innovation Capacity of the Firm: The value of intangible assets in the knowledge economy », *European Trend Chart on Innovation*, September 2005.
- GOURIEROUX C., MONFORT A., TROGNON A. (1985). « Moindres carrés asymptotiques », *Annales de l'INSEE*, vol. 58, pp. 91-122.
- GREEN W.H. (2000). *Econometric Analysis*, Macmillan Publishing Company.
- GRIFFITH R., HUERGO E., MAIRESSE J., PETERS B. (2006). « Innovation and Productivity across Four European Countries », *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 22, n° 4, pp. 483-498.
- GRILICHES Z. (1979). « Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth », *Bell Journal of Economics*, vol. 10, n° 1, pp. 92-116.
- HERRERA M., MONTMARTIN B. (2014). « Internal and External Effects of R&D Subsidies and Fiscal Incentives: Empirical Evidence Using Spatial Dynamic Panel Models », GREDEG Working Papers 2014-09, Groupe de REcherche en Droit, Économie, Gestion (GREDEG CNRS), University of Nice Sophia Antipolis.
- HOLMSTRÖM B., MILGROM P. (1994). « The Firm as an Incentive System », *American Economic Review*, vol. 84, pp. 972-991.
- KARRAY Z. (2003). « Compétences pour innover et coopération technologique : une analyse multivariée de l'industrie française », *Revue d'économie industrielle*, n° 102, pp. 29-53.
- LÖÖF H., HESHMATI A. (2002). « Knowledge capital and performance heterogeneity », *International Journal of Production Economics*, vol. 76, n° 1, pp. 61-85.

- MAIRESSE J., MOHNEN P. (2010). « Using innovation surveys for econometric analysis », NBER Working Paper Series, Working Paper 15857.
- MASSARD N., MONTMARTIN B. (2013). « Is financial support for private R&D always justified? A discussion based on literature on growth », Working Paper 1328, Groupe d'Analyse et de Théorie Économique (GATE), Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Université Lyon 2, École Normale Supérieure.
- MILGROM P., ROBERTS J. (1990). « The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization », *American Economic Review*, vol. 80, n° 3, pp. 511-528.
- MILGROM P., ROBERTS J. (1995). « Complementarities of fit: strategy, structure, and organizational change », *Journal of Accounting and Economics*, vol. 19, pp. 179-208.
- PATEL P., PAVITT K. (1993). « Patterns of Technological Activity: their Measurement and Interpretation », in P. Stoneman (dir.), *The Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Oxford, Blackwell Scientific Publication.
- POLDER M., LEEUWEN G., MOHNEN P., RAYMOND W. (2010). « Product, Process and Organizational Innovation: Drivers, Complementarity and Productivity Effects », Scientific Series. CIRANO, juin.
- ROBIN S., MAIRESSE J. (2008). « Innovation and productivity: a firm level analysis for French manufacturing and services using CIS3 and CIS4 data », Papier présenté à la conférence DRUID. Copenhagen, juin.
- SCHUMPETER J.A. (1939). « Business cycles, a theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process », New York-London, McGraw-Hill Book Company.
- SEGRETIN B. (2003). La gestion des partenariats d'exploration: spécificités, crises et formes de rationalisation, thèse de docteur de l'École des Mines de Paris, 367 p.
- TOPKIS D.M. (1978). « Minimizing a submodular function on a lattice », *Operations Research*, vol. 26, pp. 305-321.
- TRAIN K. (2003). *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge (UK), Cambridge University Press.